УДК 539.3: 621.762

А.В.ЛЮЛЬКО, В.В. ГРИЦЕНКО, Б.Б.ЖМАЙЛОВ, В.Г.ЛЮЛЬКО

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ МИКРОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА

Предложены основные этапы комплексного направления развития науки и практики порошковой металлургии как метода информационно-аналитического представления основных его аспектов. Даны основной алгоритм проведения операций и схема решения поставленных задач по объекту с некоторым числом неизвестных факторов. Намечены пути дальнейшего совершенствования представленной технологии порошковой металлургии и нанокомпозиционных материалов.

Ключевые слова: *моделирование, порошковые микрокомпозиты, матрица планирования, композиционные материалы*

Введение. В результате анализа многокомпонентной технологической системы, каковой является объект порошковой металлургии и композиционных материалов, были определены основные принципы построения и аналитические эмпирико-статистические аспекты этого процесса [1-3]. При этом исходили из следующих соображений.

Объектный подход на сегодняшний день является основным при разработке информационно-аналитических систем. Для его реализации необходимо описать все элементы, входящие в систему, их свойства и способы взаимодействия между ними. Поэтому на начальном этапе разработки необходимо выполнить структурный анализ системы [1], который понимается как метод исследования систем, включающий их общий обзор и дальнейшую детализацию, в целом порождающий иерархическую структуру модели исследуемого объекта.

Методика расчетов. Использование объектного подхода при разработке информационно-аналитической системы для исследования свойств многокомпонентных смесей в порошковой металлургии и композиционных материалах, разработка новых алгоритмов, способов хранения и обработки экспериментальных данных на основе технологий Java и XML являются в настоящий момент наиболее предпочтительными [1-3].

Задачи исследования технологической системы порошковой металлургии (ТС ПМ) заключаются в установлении взаимосвязи между входными параметрами - массовыми долями исходных смесей и выходными параметрами – свойствами полученного материала и определении уровней (долей исходных компонент), оптимизирующих получение материала с теми или иными свойствами. Данные задачи решаются с помощью методов планирования эксперимента и компьютерной обработки данных на диаграммах «состав – свойство».

Для решения этой задачи на ПЭВМ выбран объектно-ориентированный язык программирования Java2. Технология Java – это более чем язык программирования, это платформа, состоящая из виртуальной машины Java и интерфейса прикладного программирования. Это обстоятельство

обеспечивает кроссплатформенность приложения. То есть программа, написанная на языке Java, может выполняться на любой аппаратной платформе, под управлением любой операционной системы, как то Windows, Linux, Solaris и др.

В условиях неполного знания механизма явлений задачи идентификации и оптимизации, т.е. выбора оптимального состава многокомпонентных систем в порошковой металлургии и композиционных материалах, модель объекта исследования удобно представить в виде известной кибернетической системы с $m+n+t$ входами и k выходами (рис.1).

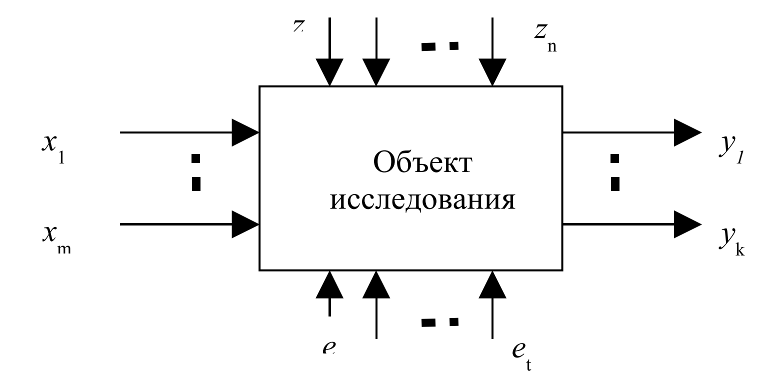


Рис.1. Модель объекта исследования

Каждый из выходных параметров зависит от состояния контролируемой управляемой части входов, определяемой m-мерным вектором $X=(x_1,x_2,\ldots,x_m)$, контролируемой неуправляемой части входов, определяемой n-мерным вектором $Z=(z_1,\ldots,z_n)$, и неконтролируемой части, определяемой t-мерным вектором $E=(e_1,e_2,\ldots e_t)$, функция выхода в этом случае имеет вид $y=F(X,Z,E)$.

Действие неконтролируемых возмущающих параметров проявляется в том, что выходной параметр системы при известной совокупности управляемых и неуправляемых контролируемых входных параметров характеризуется неоднозначно.

В описываемом случае, при исследовании ТС ПМ, используется активный эксперимент и стохастическая (вероятностно–статистическая) модель. Связь между входными и выходными параметрами системы описывается полиномом. Для оценки коэффициентов полинома, аппроксимирующего действительную зависимость (функцию отклика), необходимо располагать статистическим материалом, характеризующим состояние системы в процессе функционирования. Эту информацию получают путем активного вмешательства в функционирование системы и постановки опытов в определенных точках (x_{1j}, x_{2j}, x_{3j},), j = 1,2,..., k, где j - номер опыта, x_{1j}, x_{2j}, x_{3j} - концентрация каждого компонента в экспериментальной точке в допустимой области пространства управляемых параметров. При незначительном влиянии неуправляемых входных параметров по сравнению с вводимыми возмущениями управляемых параметров, если помеха аддитивно

накладывается на показатель качества и является реализацией случайного процесса с математическим ожиданием ε, систему можно описать моделью:

$$E(Y) = f(X) + \varepsilon. \quad (1)$$

В данном случае контролируемая управляемая часть входов, определяемая вектором *X,* является смесью *q* различных компонентов, для конкретного случая q=3. Переменные $x_i (i = 1,...q)$ являются пропорциями (относительным содержанием) *i*-х компонентов смеси и удовлетворяют условию

$$\sum_{1 \le i \le q} x_i = 1, \; 0 \le x_i \le 1. \quad (2)$$

Геометрическое место точек, удовлетворяющее условию нормированности суммы переменных (2), представляет собой *(q-1)-* мерный правильный симплекс (треугольник для *q=3*, тетраэдр для *q=4* и т.д.). Каждой точке такого симплекса соответствует смесь определенного состава, и наоборот, любой комбинации относительных содержаний *q* компонентов соответствует определенная точка на симплексе.

Впервые задача построения математической модели «состав-свойство», включающей все компоненты системы на симплекс - решетчатых планах, была решена Шеффе [4], который ввел каноническую форму полинома степени *n:*

$$\hat{y} = \sum_{1 \le i \le q} \beta_i x_i + \sum_{1 \le i < j \le q} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{1 \le i < j \le q} \gamma_{ij} x_i x_j (x_i - x_j) + \sum_{1 \le i < j < k \le q} \beta_{ijk} x_i x_j x_k, \quad (4.3)$$

где $\hat{y}$ - расчетное значение отклика; $\beta_i, \beta_{ij}^{(n)}, \beta_s$ – коэффициенты.

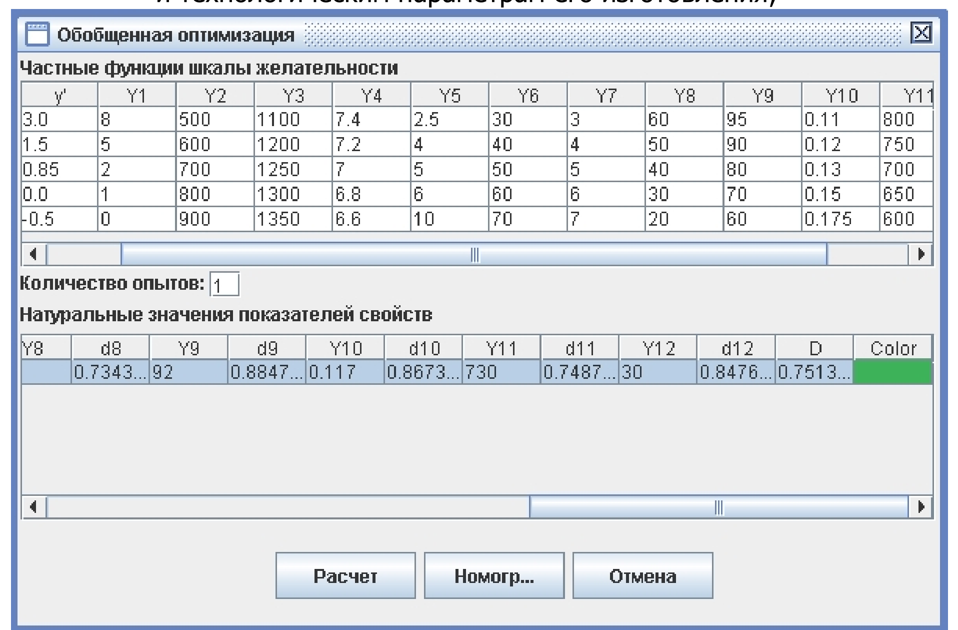
Полиномы такого вида (так называемые приведенные полиномы) получаются из обычных полиномов соответствующей степени для q переменных введением соотношения $\sum_{1 \le i \le q} x_i = 1$ и содержат C_{q+n-1}^{n} коэффициентов.

На основании вышеприведенных данных установлено, что основным объектом системы является матрица планирования эксперимента (МПЭ), которая создается на основании выбранной математической модели «состав – свойство» (рис.2). Это описывается в свою очередь приведенным полиномом соответствующей степени, кроме того, в качестве исходных данных для ее построения указывается концентрация компонентов порошковой смеси.

На основании вектора исходных данных происходит расчет коэффициентов и заполнение соответствующих столбцов МПЭ, где в столбце "Коэф.–Y2" - b1 соответствует β_1 и т.д., а g1 соответственно γ_1 и т.д.

Подобное исследование эмпирико-статистических и функциональных свойств микрокомпозиционных порошков и материалов на их основе указывает на возможность создания этапов разработанных материалов в виде некоторого общего алгоритма [5-9]. Он включает:

- сбор и анализ литературных, экспериментальных, прогностических, виртуальных и др. данных по проектируемому материалу и технологическим параметрам его изготовления;



y'	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11
3.0	8	500	1100	7.4	2.5	30	3	60	95	0.11	800
1.5	5	600	1200	7.2	4	40	4	50	90	0.12	750
0.85	2	700	1250	7	5	50	5	40	80	0.13	700
0.0	1	800	1300	6.8	6	60	6	30	70	0.15	650
-0.5	0	900	1350	6.6	10	70	7	20	60	0.175	600

Y8	d8	Y9	d9	Y10	d10	Y11	d11	Y12	d12	D	Color
	0.7343...	92	0.8847...	0.117	0.8673...	730	0.7487...	30	0.8476...	0.7513...	

Рис.2. Матрица планирования экспериментов (МПЭ) рассматриваемой системы

- подбор матричных железных порошков отечественного или зарубежного производства (в том числе с учетом их стоимости) и условий их химико-термической обработки (ХТО);
- назначение режимов химико-термической обработки в вибрирующем слое (ХТО ВС), легирующих и смазочных элементов;
- проведение ХТО ВС с соблюдением назначенных параметров по оговоренным режимам и получение требующихся микрокомпозитов;
- построение предварительных функциональных зависимостей «комбинации составов – свойства» и парных, и многопараметрических 2D/3D моделей с выявлением «белых» пятен функционального пространства исследований;
- определение режимов переработки (обычно это давление прессования 4-7 т/см^2, температура спекания 950; 1000-1100; 1200°С, доли присадки, дополнительной обработки – пропитка, мехобработка) микрокомпозитов Fe-Me-L в спеченные композиционные материалы различного назначения (обычно пористостью 5-10-15-20%);
- комплексное тестирование свойств микрокомпозитов «Fe-Me-L» по химическим, структурно-морфологическим, технологическим

и др. показателям, в том числе по многопараметрическим критериям;

- экспериментальные исследования, графическая интерпретация и построение рациональных графоаналитических диаграмм «состав-свойство», совмещаемых с ранее построенными технологическими диаграммами, их оптимизация;
- вывод обобщенного критерия качества полученного материала и уровня технологического воздействия, итерационная адаптация технологических параметров по функциональным, технологическим, экономическим и др. критериям;
- занесение микрокомпозита в банк данных и типовых технологий, производство и поставка качественного материала на рынок.

Таким образом может быть реализован типовой технологический процесс создания порошкового материала и композиционных микрокомпозитов, включающий все или некоторые из названных этапов, приводящие к достижению цели.

Выводы. Комбинации названных этапов проектирования, тестирования и контроля многокомпонентных материалов могут включать (или исключать) все эти и другие приемы работы, но конечной целью должно стать достижение экономико-технологического выигрыша, формирование которого находится во многом в руках производителя благодаря самой технологии порошковых компонентов, дозируемых и смешиваемых (композиционируемых дробно или массово) без каких-либо ограничений.

Библиографический список

1. Черемных С.В. Структурный анализ систем: IDEF – технологии / С.В.Черемных, И.О.Семенов, В.С.Ручкин. – М.: Финансы и статистика, 2001. – 208 с.
2. Орлов А.И. Прикладная статистика /А.И.Орлов. – М.: Изд-во «Экзамен», 2004. – 656 с.
3. Глушаков С.В. Программирование на Java2 /С.В.Глушаков. – Харьков: Фолио; М.: АСТ, 2001. – 536 с.
4. Зедгенидзе И.Г. Планирование экспериментов при исследовании мультикомпонентных систем /И.Г.Зедгенидзе. – М., 1975. – 398 с.
5. Рыбалкина М. Нанотехнологии для всех. Большое - в малом // Nano technology News Network, 2007. – 436 с. www.nanonewsnet.ru (CD-R).
6. Лякишев Н.П. Наноматериалы конструкционного назначения: сб.тр. Междунар. конф. Т.1 «Наноматериалы и технологии», «Порошковая металлургия». – Волгоград: Изд-во Политехник, 2004. – С.12-13.
7. Свидетельства № 2005611223, № 2005611224; № 2005611225 об офиц. регистр. прогр. для ЭВМ // В.Г.Люлько, Б.Б.Жмайлов,

А.Г. Краснобаев, А.В.Люлько и др. Проектирование многокомпонентных порошковых материалов по симплекс-диаграммам и оптимизация их свойств. Зарегистр. 25 мая 2005 г.; Бюл.ФИПС №3, 2005. – С. 109.

8. Люлько А.В., Жмайлов Б.Б., Бровер А.В. Адаптивное проектирование и тестирование многокомпонентных композиционных материалов по симплексным диаграммам «состав-свойства»//Упрочняющие технологии и покрытия. – 2007. – № 9. – С. 111-115.
9. Люлько А.В., Жмайлов Б.Б. Реализация принципов проектирования и анализа свойств поликомпонентных композиционных материалов. // Вестник ДГТУ. – 2007. – №2. – С.53-59.

Материал поступил в редакцию 27.10.08.

A.V. LYULKO, V.V. GRITSENKO, B.B. JMAILOV, V.G. LYULKO

INFORMATION-ANALYTICAL ASPECTS OF THE RECEPTION ORGANISATION OF POWDER MICROCOMPOSITES ON AN IRON BASIS

The basic stages of a complex development direction of a science and practice of powder metallurgy as method of information-analytical representation of its basic aspects are presented. The basic algorithm of carrying out of operations and the scheme of the decision of tasks in view on object with some number of unknown factors is given. Ways of the further perfection of the presented technology of powder metallurgy and nanocomposite materials are planned.

Люлько Артем Валерьевич (р.1977), старший научный сотрудник, руководитель лаборатории «Порошковая металлургия». Действительный член Европейской ассоциации порошковой металлургии (ЕПМА), участник международного (Австрия-Россия-Украина) проекта Евросоюза по порошковым материалам (2004-2008 г.г.). Окончил ДГТУ (1999).

Научные интересы: общая технология порошковой металлургии, моделирование процессов формирования свойств композиционных материалов, в том числе инструментальных покрытий, информационные технологии в технике.

Автор более 35 печатных работ, в том числе в международных изданиях конференций и симпозиумов.

Гриценко Виктор Викторович (р. 1984), аспирант кафедры «Технология конструкционных материалов». Окончил ДГТУ в 2006 г по специальности «Сертификация и стандартизация».

Научные интересы: общая технология порошковой металлургии, моделирование процессов, формирование свойств композиционных материалов, информационные технологии в технике, сертификация порошковой продукции.

Автор более 20 научных публикаций, в том числе за рубежом.

Жмайлов Борис Борисович (р. 1971 г.), доцент кафедры «Техническое регулирование» ДГТУ, кандидат технических наук. Окончил ДГТУ (1993) по специальности ««Сварочное производство».

Научные интересы: информационные технологии в технике, создание информационно-аналитических систем, технология композиционных материалов для машиностроения и электротехники, общая технология порошковой металлургии, моделирование технологических процессов.

Автор более 65 печатных работ, в том числе в международных изданиях конференций и симпозиумов, открытых сайтах WWW, реферируемых журналах.

Лауреат конкурса компьютерных программ на платформе Java фирмы «Sun Microsystems».

ЛЮЛЬКО Валерий Григорьевич (р.1951), доктор технических наук, профессор кафедры «Технология конструкционных материалов ДГТУ, академик международной академии проблем качества (1999). Окончил ДГТУ-РИСХМ (1973) по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты».

Научные интересы – порошковая металлургия и композиционные материалы.

Автор более 320 научных и методических работ, 13 авторских свидетельств и патентов.